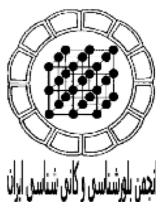
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال سی و یکم، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۴۰۲، از صفحهٔ ۳۴۷ تا ۳۶۰



بررسی‌های سنگ‌نگاری، کانی‌شناسی و زمین شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی در منطقه گرازی، جنوب‌غرب خواف، استان خراسان رضوی

فرحناز محمدپور، سید مسعود همام*، مریم جاویدی مقدم

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۶/۸، نسخه نهایی: ۱۴۰۱/۱۰/۴)

چکیده: منطقه‌ی مورد بررسی در شمال‌شرق ایران و ۱۰ کیلومتری جنوب‌غربی شهرستان خواف واقع شده است. این منطقه دارای برونزدهایی از سنگ‌های رسوبی (کنگلومرا)، آتشفشانی (داسیت، آندزیت، بازالت) و آذرآواری (ایگنمبریت) با سن ائوسن پسین است. واحد بازالتی دارای بافت‌های پورفیری، گلومروپورفیری، شیشه‌ای، غربالی و بادامکی است. کانی‌های این واحد شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن، هورنبلند و الیوین هستند. در واحد آندزیتی، بافت‌های پورفیری با زمینه ریزسنگی، شیشه‌ای، گلومروپورفیری و غربالی شناسایی شدند. کانی‌های اصلی آن پلاژیوکلاز، هورنبلند و فلدسپار قلیایی هستند. واحد داسیتی دارای بافت پورفیری بوده و شامل کانی‌های پلاژیوکلاز و کوارتز و به مقدار کمتر فلدسپار قلیایی است. واحدهای آتشفشانی گرازی ماهیت آهکی قلیایی تا آهکی قلیایی با پتاسیم بالا دارند. غنی شدگی عناصر خاکی نادر سبک (LREE)ها نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین (HREE)ها و غنی‌شدگی عناصر سنگ دوست بزرگ یون (LILE) نسبت به عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) شواهد مهمی گویای این هستند که این واحدها در کمربند ماگمایی پهنه فرورانش تشکیل شده‌اند. با توجه به داده‌های زمین شیمیایی، سنگ‌های آتشفشانی از گوشته غنی شده شکل گرفته‌اند و از بین اجزای فرورانشی، دگرنهادی مربوط به رسوب‌ها، مهمترین نقش را داشته‌است.

واژه‌های کلیدی: *سنگ‌نگاری؛ کانی‌شناسی؛ زمین شیمی؛ گرازی؛ خواف.*

مقدمه

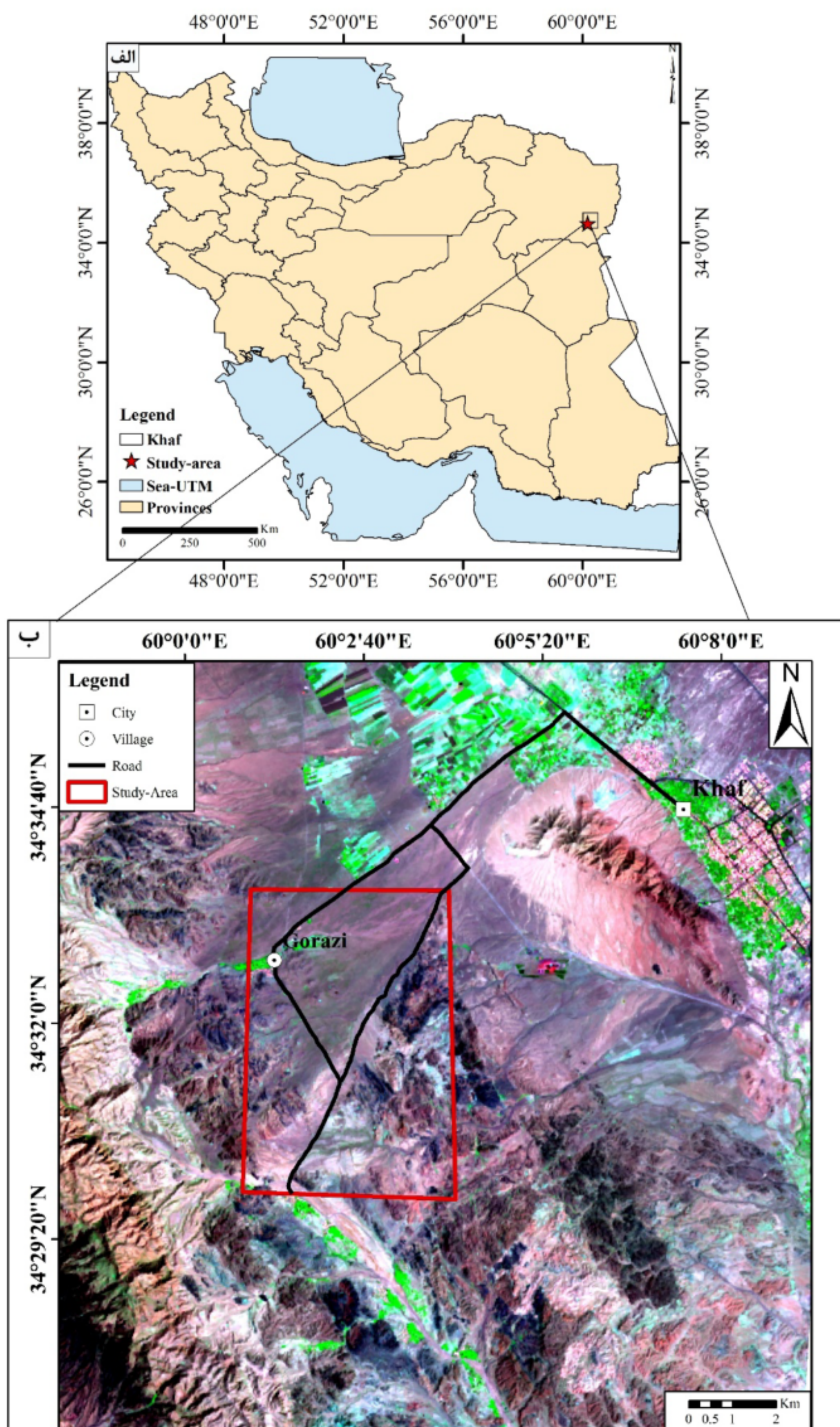
منطقه مورد بررسی در شمال‌شرق ایران و بخش شمالی قطعه لوت واقع است (شکل ۱). این منطقه در فاصله‌ی ۱۰ کیلومتری جنوب‌غرب شهرستان خواف در استان خراسان‌رضوی و نزدیک روستای گرازی است (شکل ۱ ب). وسعت این منطقه حدود ۳۲ کیلومترمربع است و در مرز بین طول‌های جغرافیایی '۱ °۶۰ تا '۴ °۶۰ و عرض‌های جغرافیایی '۲۹ °۳۴ تا '۳۳ °۳۴ قرار دارد. قطعه لوت یک قطعه ریزقاره‌ای است که از لبه‌ی شمالی گندوانا طی بازشدن نئوتتیس در پرمین رانده شده و سپس طی بسته شدن پالئوتتیس در اواخر تریاس به قاره‌ی اوراسیا متصل شده است [۱- ۳]. قطعه لوت دارای روند شمالی- جنوبی بوده و یکی از ۹ منطقه ساختاری ایران در نظر گرفته شده است. این قطعه با گسل‌های نهبندان در شرق، درونه در شمال، نایبند در غرب و جازموریان در جنوب دربرگرفته شده است [۴]. قطعه لوت به عنوان یک قطعه مقاوم طی حرکت‌های نزدیک‌شونده قطعه‌های هند و اوراسیا دچار چرخش پادساعتگرد زیادی شده است [۵].

به‌طور کلی، فعالیت‌های ماگمایی لوت از ژوراسیک آغاز شده، در کرتاسه نیز وجود داشته و در ترشیری به اوج خود رسیده است، به‌طوری‌که سنگ‌های آتشفشانی ترشیری، به‌ویژه ائوسن، با ضخامت حدود ۲۰۰۰ متر بیش از نیمی از قطعه را می‌پوشانند [۶، ۷]. فعالیت ماگمایی لوت شمالی از کرتاسه‌ی پسین، یعنی بیش از ۷۷ میلیون سال پیش، آغاز شده و ۵ میلیون سال ادامه داشته است [۸]. سنگ‌های ماگمایی از نوع

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۱-۳۸۸۰۵۴۸۰۰، نمابر: ۰۵۱-۳۸۷۹۶۴۱۶، پست الکترونیکی: homam@um.ac.ir

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-25]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.10.3]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.347]

آتشفشانی (بازالت، آندزیت، داسیت و ریولیت) و همچنین مقدار کمتری نفوذی‌های نیمه‌عمیق هستند [۹]. به تازگی پژوهش‌های بسیاری پیرامون توده‌های نفوذی در قطعه لوت انجام شده است [۱۰-۱۵]. همچنین بررسی‌هایی بر سنگ‌های آتشفشانی در این قطعه صورت گرفته‌است [۱۶]. در این پژوهش، بررسی‌های زمین‌شناسی و زمین‌شیمیایی واحدهای آتشفشانی برای تعیین خاستگاه و جایگاه زمین‌ساختی منطقه گرازی انجام شده‌است. امید است نتایج این پژوهش کمکی هرچند کوچک در شناسایی بهتر فعالیت‌های آتشفشانی در شمال قطعه لوت باشد.



شکل۱ الف) جایگاه جغرافیایی منطقه گرازی در شمال‌شرق ایران و ب) راه دسترسی به منطقه گرازی.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-25]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.10.3]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.347]

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-25]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.10.3]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.347]

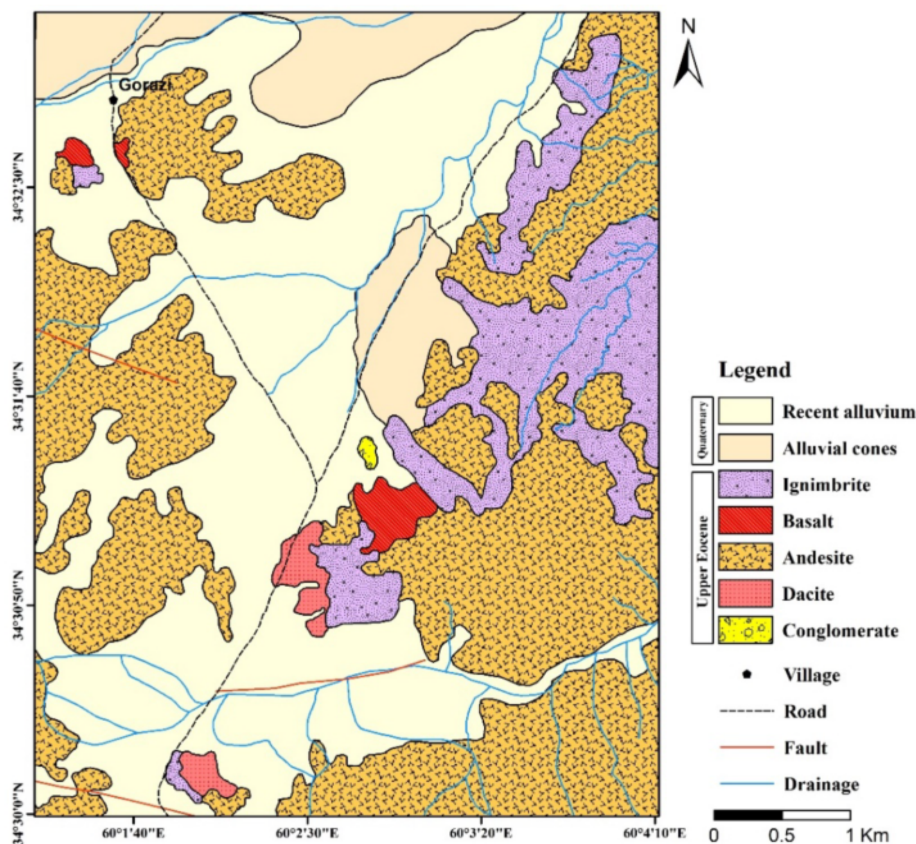
روش بررسی

در راستای تهیه نقشه زمین‌شناسی از منطقه گرازی، نخست برداشت‌های صحرایی و نمونه‌برداری از واحدهای زمین‌شناسی در منطقه با گستردگی حدود ۳۲ کیلومتر مربع انجام شد. بیش از ۵۰ نمونه از سطح منطقه گردآوری شد و از میان آن‌ها، ۴۴ نمونه مقطع نازک تهیه و بررسی گردید. نقشه زمین‌شناسی منطقه برپایه تصاویر سنجنده استرا (مربوط به ماهواره ترا) پردازش شده با نرم افزار Envi در نرم‌افزار ArcGIS رسم شد پس از بررسی‌های سنگ‌نگاری، ۵ نمونه با کمترین دگرسانی و هوازدگی برای بررسی‌های زمین شیمیایی و سنگ‌زایی انتخاب شدند. نمونه‌ها پس از خردایش و آماده‌سازی، برای اندازه‌گیری اکسیدهای اصلی به روش طیف‌سنجی فلئورسانس پرتو X (XRF) و عناصر فرعی و خاکی نادر به روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) در شرکت کانساران بینالود مشهد تجزیه گردیدند. سپس نمودارهای زمین شیمی مناسب با نرم افزار GCDkit رسم و با نرم افزار CorelDRAW مرتب شدند.

زمین‌شناسی

منطقه مورد بررسی در غرب نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ تایباد [۱۷] و جنوب‌غرب برگه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ خواف [۱۸] جای دارد. سن واحدهای سنگی این منطقه اغلب ائوسن پسین است [۱۸]. برپایه‌ی بررسی‌های سنگ‌نگاری، سنگ‌های منطقه شامل برونزدهایی از سنگ‌های رسوبی (کنگلومرا)، آتشفشانی (داسیت، آندزیت، بازالت) و آذرآواری (ایگنمبریت) هستند.

سنگ‌های آندزیتی و داسیتی بر سنگ‌های ایگنمبریت قرار دارند. بر پایه بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی، آندزیت، داسیت و بازالت با بافت‌های پورفیری، گلومروپورفیری و غربالی از سنگ‌های آتشفشانی این منطقه هستند. واحد بازالتی اغلب در غرب و مرکز منطقه گسترش دارد (شکل‌های ۲ و ۳ الف) و در رخنمون‌های سطحی، دارای حفره‌های گرد تا بادامکی با اندازه‌ای حدود ۲ تا ۳ میلیمتر است و پرامون حفره ها کربنات دیده می‌شود. بافت بادامکی نشان‌دهنده مقدار چشمگیر سیال در ماگماست. کاهش فشار طی بالا آمدن و گرانروی کم ماگما باعث به هم پیوستن سیال‌ها در بالای ستون ماگمایی، رویداد فوران و در پایان پیدایش سنگ‌های حفره‌دار می‌شود [۱۹].



شکل۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه گرازی.



شکل۳ عکس صحرایی سنگ‌های منطقه: الف) بازالت، ب) آندزیت و پ) داسیت.

واحد آندزیتی بیشترین گسترش را نسبت به دیگر واحدهای آتشفشانی در منطقه دارد (شکل‌های ۲ و ۳ ب) و بافت آن پورفیری است. واحد داسیتی بیشتر در مرکز و جنوب منطقه مورد بررسی گسترش دارد و دارای بافت پورفیری است (شکل‌های ۲ و شکل ۳ پ). واحد کنگلومرایی رخنمون کمی در مرکز منطقه مورد بررسی دارد و بیشتر از قطعه‌های آهکی و شیست‌های دگرگونی تشکیل شده است. واحد ایگنمبریتی دارای بافت جوش خورده است و حالت نواری از خود نشان داده و به صورت پراکنده در منطقه دیده می‌شود. گفتنی است که در منطقه مورد بررسی هیچ توده عمیق یا نیمه‌عمیق شناسایی نشد.

سنگ نگاری

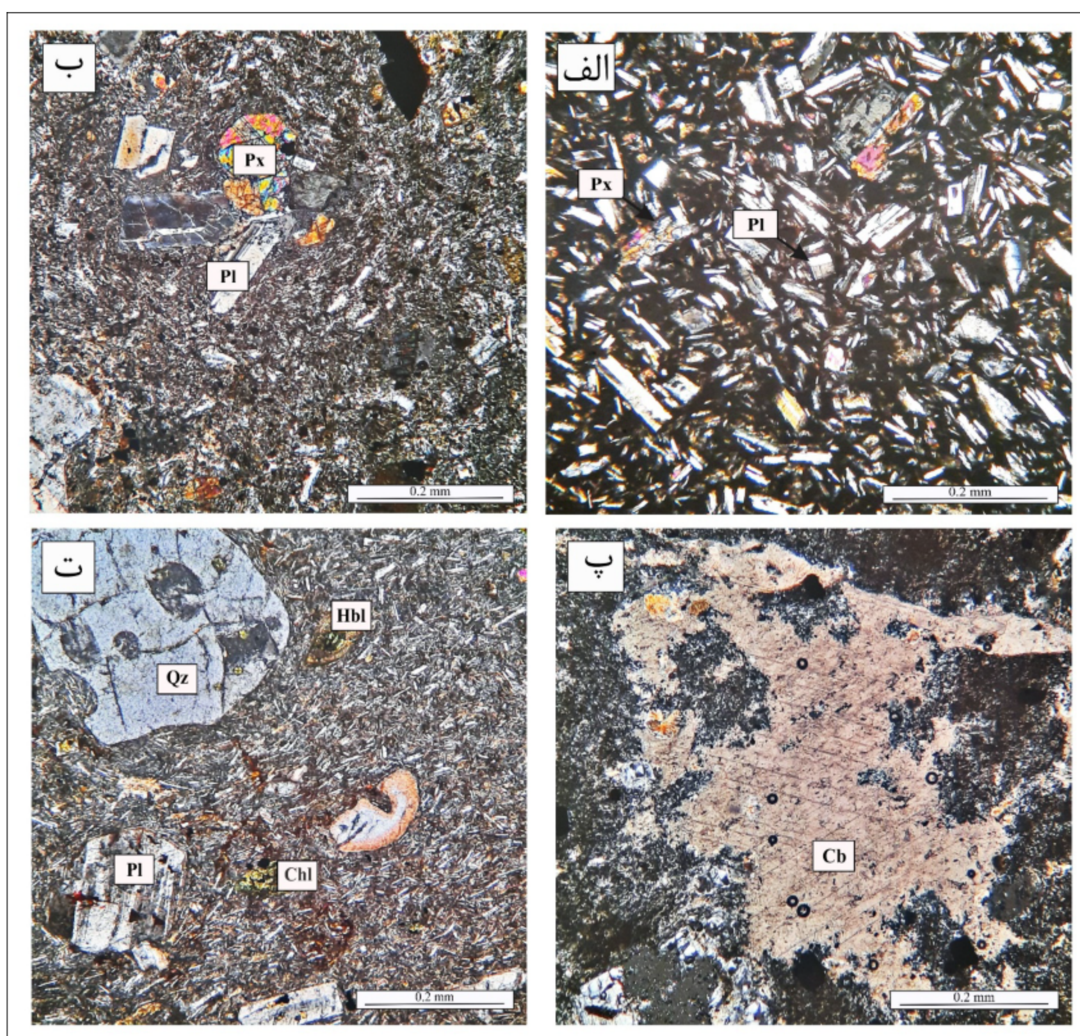
بازالت: بافت این واحد بیشتر پورفیری با زمینه ریزسنگی است. همچنین، بافت‌های گلومروپورفیری، شیشه‌ای، غربالی و بادامکی در برخی بخش‌ها دیده می‌شود. تنها دگرسانی شناسایی شده در این سنگ‌ها کلریتی شدن است. درشت بلور-ها در این واحد ۱۰ تا ۱۵ درصد و شامل پلاژیوکلاز از نوع بیتونیت تا اندازه ۱٫۳ میلیمتر (۵-۱۰درصد) در بعضی بخش‌ها مربعی‌شکل (شکل ۴ الف) و دارای منطقه‌بندی و الیوین تا اندازه‌ی ۰٫۸ میلیمتر (۳ تا ۵ درصد) که در برخی بخش‌ها ایدنگزیتی شده‌اند هستند. زمینه سنگ از شیشه، پلاژیوکلاز، پیروکسن (از نوع اوژیت) و هورنبلند تشکیل شده است.

آندزیت: بافت این سنگ اغلب پورفیری با زمینه‌ی ریزسنگی و شیشه‌ای است. در این سنگ، بافت‌های گلومروپورفیری و غربالی در برخی از بخش‌ها دیده می‌شود. این سنگ‌ها حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد درشت بلور دارند و شامل کانی‌های پلاژیوکلاز بصورت شکل‌دار با اندازه تا ۳٫۵ میلیمتر (۱۵ تا ۱۷ درصد) و با ماکل چندریخت، هورنبلند با اندازه تا ۱ میلیمتر (۴ تا ۵ درصد)، کلینوپیروکسن با اندازه تا ۰٫۸ میلیمتر (۲ تا ۳ درصد) از نوع اوژیت با ماکل کارلسباد (شکل ۴ ب) هستند. زمینه سنگ از پلاژیوکلازهای دانه‌ریز، شیشه، کانی‌های کدر، کلریت (از تجزیه پیروکسن‌ها) و به مقدار کمتر کربنات تشکیل شده است (شکل ۴ پ). در این واحد، پلاژیوکلازها از نوع آندزین هستند و گاه منطقه‌بندی و بافت غربالی در برخی درشت بلور-های پلاژیوکلاز دیده می‌شود که هر دو از نشانه‌های آشکار بافت‌های ناتعادلی در پلاژیوکلازها هستند. این ناتعادلی می-تواند پیامد آمیختگی ماگما و تغییر ترکیب ماگما هنگام تبلور، پیدایش جریان‌های همرفتی و جابه‌جایی بلورها در آشیانه ماگمایی، تغییر فشار بخار آب و همچنین بالا آمدن ماگما و

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-25]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.10.3]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.347]

کاهش فشار وارد بر آن باشد که همه ناتعادلی بلورها با ماگمای در حال تبلور را در پی دارند [۲۰]. کانی‌های آب‌دار چون هورنبلند، دارای کناره‌های سوخته هستند (کدر شدن) و از لبه به اکسیدآهن تبدیل شده‌اند و بیشتر قالب هورنبلندها به جا مانده است. کدر شدن ناشی از کاهش فشار H_2O طی صعود ماگما و افزایش دما طی آمیختگی ماگمایی است [۲۱]. هورنبلندها با لبه سوخته گاه نشان‌دهنده‌ی واکنش اکسایش هستند که به نبود تعادل این کانی در محیط آبدار و دما بالا بستگی دارد [۲۲]. در بعضی بخش‌ها، کربنات و کلریت جایگزین هورنبلندها شده‌اند.

داسیت: بافت اصلی این واحد پورفیری است. داسیت نزدیک به ۱۵-۲۰ درصد درشت‌بلور دارد که شامل بلورهای نیمه‌شکل‌دار کوارتز در اندازه‌های ۰٫۱ تا ۱٫۶ میلیمتر (۴ تا ۵ درصد) با آثار خوردگی خلیجی، پلاژیوکلاز در اندازه‌های ۰٫۲ تا ۲ میلیمتر (۶ تا ۷ درصد)، فلدسپار قلیایی تا اندازه‌ی ۱ میلیمتر (۲ تا ۳ درصد) ، هورنبلند تا اندازه ۰٫۳میلیمتر (۱ تا ۲ درصد) و پیروکسن در اندازه‌های ۱٫۳ تا ۰٫۵ میلیمتر (۲ تا ۳ درصد) است (شکل ۴ ت). زمینه سنگ دانه‌ریز تا متوسط و دربردارنده‌ی بلورهای ریز پلاژیوکلاز، کوارتز و کانی‌های رسی است. عوامل بازجذبی (کاهش فشار، آمیختگی و آلایش) و رشدی (رشد سریع و رشد سلولی) باعث ایجاد لبه خلیجی در کوارتز می‌شود [۲۳]. خوردگی خلیجی گاهی ناشی از واکنش مذاب و بلور طی فرآیند تبلور است[۲۴]. هورنبلندها به شدت دگرسان شده و به مجموعه‌ای از کانی‌های ثانویه چون کلریت، اپیدوت و کانی‌های کدر تبدیل شده‌اند (شکل ۴ ت) و پلاژیوکلازها گاه با کانی‌های رسی جایگزین گردیده‌اند.



شکل۴ تصویرهای میکروسکوپی در نور قطبیده متقاطع (xpl) از الف) بازالت، ب، پ) سنگ‌های آندزیت و ت) داسیت، (Pl: پلاژیوکلاز، Qz: کوارتز، Chl: کلریت، Hbl: هورنبلند، Px: پیروکسن، Cb: کربنات [۲۵]).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-25]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.10.3]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.347]

زمین شیمی

نامگذاری سنگ‌های آتشفشانی

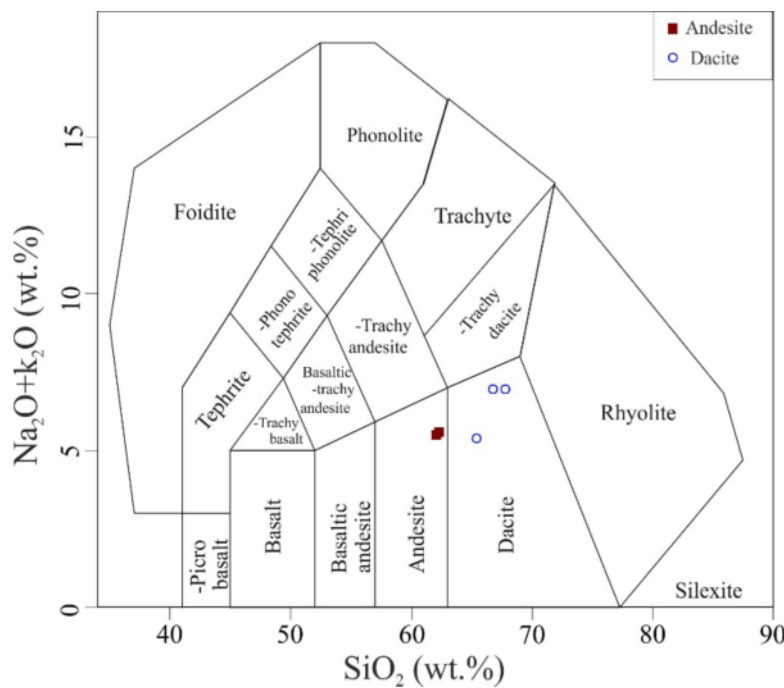
داده‌های تجزیه اکسیدهای اصلی، عناصر فرعی و خاکی نادر برای سنگ‌های با کمترین دگرسانی در منطقه گرازی در جدول ۱ آورده شده‌اند. مقدار SiO_2 در سنگ‌های آتشفشانی منطقه گرازی از ۶۰٫۷۲ تا ۶۶٫۲۱ درصد وزنی است (جدول ۱). برای نامگذاری این سنگ‌ها نمودار مرجع [۲۶] به کار برده شد. نمونه‌ها در بخش داسیت و آندزیت جای می‌گیرند (شکل ۵). برپایه‌ی نمودار AFM (شکل ۶ الف)، نمونه‌ها در گستره آهکی قلیایی جای دارند. مقدار K_2O سنگ‌های آتشفشانی ۱٫۵۸ تا ۳٫۳۲ در صد وزنی است (جدول ۱). بر پایه نمودار K_2O نسبت به SiO_2 [۲۷]، بیشتر داسیت‌ها در گستره آهکی قلیایی پتاسیم بالا و آندزیت‌ها در گستره آهکی قلیایی قرار دارند (شکل ۶ ب).

جدول۱ نتایج تجزیه شیمیایی اکسیدهای اصلی (بر پایه درصد وزنی) و عناصر فرعی (بر پایه ppm) سنگ‌های آتشفشانی منطقه گرازی.

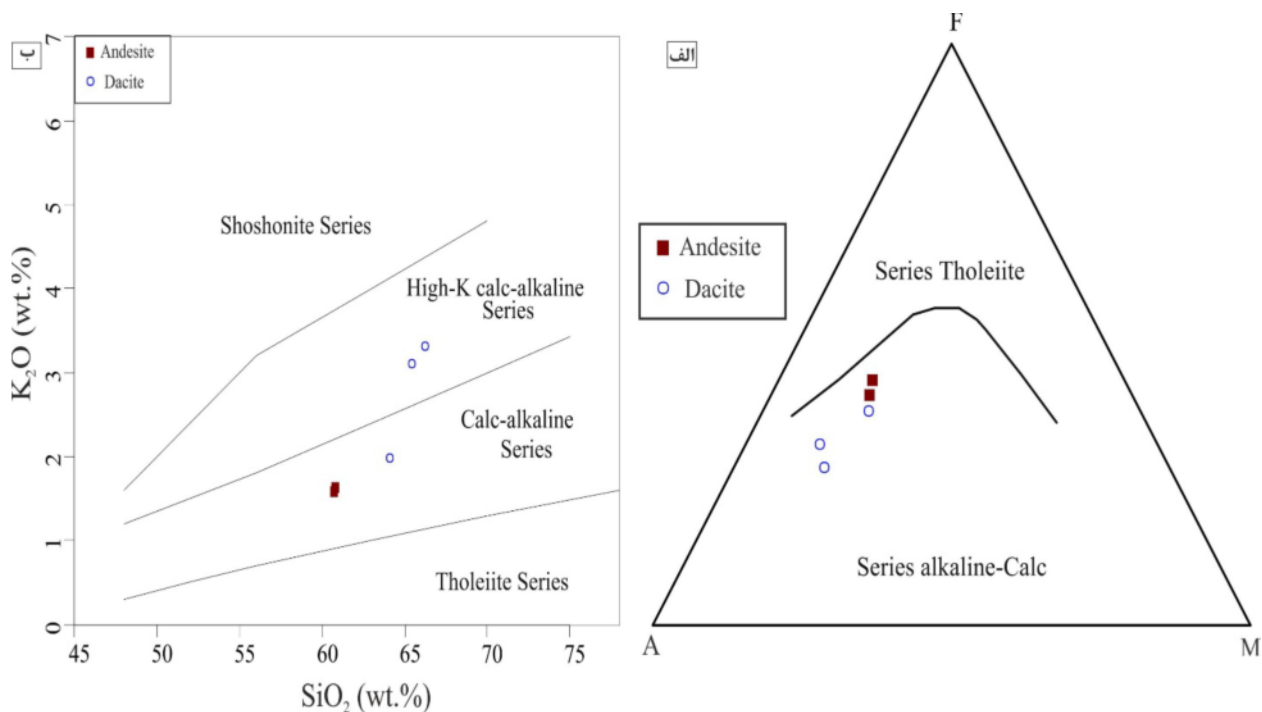
Sample	D۴٫۱۵	D۴٫۴	D۴٫۱۷	P۵	P۳٫۴
X	۶۰° ۱'	۶۰°۱'۱۵٫۱۳"E	۶۰° ۱ '۳۱٫۴۰"E	۶۰° ۲' ۴۱٫۹۴	۶۰°
Y	۳۴°۳۲'۳۹٫۴۲"N	۳۴°۳۲'۳۶٫۱۱"N	۳۴°۳۲'۴۱٫۲۶"N	۳۴°۳۱'۸٫۹۹"N	۳۴°۳۰'۵٫۵۵N
Rock type	Andesite	Dacite	Andesite	Dacite	Dacite
SiO_2	۶۱	۶۴	۶۱	۶۵	۶۶
TiO_2	۱٫۲۲	۱٫۰۸	۱٫۲۴	۰٫۶۲	۰٫۵۹
Al_2O_3	۱۶	۱۶	۱۶	۱۵	۱۵
Fe_2O_3	۵٫۴۱	۴٫۷۹	۶	۴٫۱۹	۳٫۵۹
MnO	۰٫۱۳	۰٫۱	۰٫۱۹	۰٫۰۹	۰٫۰۹
MgO	۲٫۰۱	۲٫۰۴	۱٫۹۹	۱٫۵	۱٫۷۷
CaO	۵٫۸۹	۴٫۸۷	۵٫۹۸	۳٫۸۹	۳٫۳۳
Na_2O	۳٫۸۴	۳٫۳	۳٫۷۵	۳٫۷۲	۳٫۴۸
K_2O	۱٫۵۸	۱٫۹۸	۱٫۶۳	۳٫۱۱	۳٫۳۲
P_2O_5	۰٫۲۶	۰٫۲۲	۰٫۲۶	۰٫۱۶	۰٫۱۶
LOI	۲٫۲۳۰	۱٫۶۷۰	۱٫۷۰۰	۱٫۸۰۰	۲٫۰۸۰
Total	۹۹٫۶۹۰	۹۹٫۸۳۰	۹۹٫۶۸۰	۹۹٫۹۱۰	۹۹٫۸۶۰
Sc	۱۰٫۷	۱۱٫۳	۱۰٫۵	۷٫۹	۷٫۶
V	۸۰٫۰	۸۴٫۰	۸۹٫۰	۴۹٫۰	۵۴٫۰
Cr	۴۲٫۰	۵۸٫۰	۴۶٫۰	۳۸٫۰	۳۱٫۰
Co	۰٫۴	۰٫۸	۰٫۴	۰٫۳	۰٫۵
Ni	۲۰٫۰	۱۲٫۰	۱۶٫۰	۱۳٫۰	۱۴٫۰
Cu	۱۳٫۱	۱۴٫۰	۱۳٫۰	۹٫۳	۹٫۹
Zn	۱۱۵٫۹	۸۰٫۳	۱۲۳٫۱	۷۶٫۱	۹۱٫۲
Ga	_	_	_	_	_
Rb	۱۵۵	۱۶۶	۱۷۴	۱۵۴	۱۴۶
Sr	۳۴۷	۳۵۲	۳۸۲	۳۲۸	۳۱۳
Y	۱۹٫۸	۲۰٫۰	۲۰٫۲	۱۸٫۶	۱۸٫۷
Zr	۲۱۵٫۰	۲۲۶٫۰	۲۳۸٫۰	۱۴۲٫۰	۱۳۴٫۰
Nb	۱۳٫۷	۷٫۸	۱۴٫۲	۸٫۸	۱۱٫۲
Cs	۲٫۲۲۰	۲٫۲۵۰	۲٫۰۷۰	۴٫۳۲۰	۴٫۳۸۰
Ba	۳۷۳	۴۷۷	۴۳۷	۳۰۸	۳۵۹
Hf	۴٫۶۱۰	۴٫۵۶۰	۴٫۵۳۰	۳٫۶۴۰	۳٫۶۴۰
Ta	۲٫۲۹۰	۲٫۴۵۰	۲٫۰۸۰	۱٫۶۶۰	۱٫۲۵۰
Pb	۷٫۱۲۰	۸٫۸۸۰	۱۴٫۶۰۰	۱۳٫۵۱۰	۹٫۲۸۰
Th	۱۰٫۴۰۰	۱۰٫۶۰۰	۱۰٫۲۰۰	۱۴٫۳۰۰	۱۴٫۶۰۰
U	۱٫۹۵۰	۲٫۳۱۰	۲٫۱۶۰	۳٫۵۱۰	۳٫۳۳۰
La	۲۹٫۱۰۰	۲۹٫۷۰۰	۲۷٫۵۰۰	۲۸٫۰۰	۲۷٫۷۰۰
Ce	۶۴٫۸۰۰	۶۵٫۲۰۰	۶۲٫۷۰۰	۶۰٫۱۰۰	۶۰٫۶۰۰
Pr	۶٫۸۵۰	۶٫۸۶۰	۶٫۸۹۰	۶٫۴۲۰	۶٫۳۵۰
Nd	۲۵٫۶۰۰	۲۵٫۸۰۰	۲۶٫۱۰۰	۲۳٫۵۰۰	۲۳٫۰۰۰
Sm	۵٫۵۹۰	۵٫۵۴۰	۵٫۵۷۰	۴٫۷۲۰	۴٫۸۹۰
Eu	۱٫۵۸۰	۱٫۶۴۰	۱٫۶۷۰	۱٫۱۲۰	۱٫۱۷۰
Gd	۵٫۱۷۰	۵٫۰۱۰	۴٫۹۱۰	۴٫۵۰۰	۴٫۵۰۰
Tb	۰٫۸۵۰	۰٫۷۹۰	۰٫۸۱۰	۰٫۷۷۰	۰٫۷۴۰
Dy	۳٫۶۹۰	۳٫۶۵۰	۳٫۴۸۰	۳٫۲۱۰	۳٫۳۷۰
Ho	۰٫۶۳۰	۰٫۶۶۰	۰٫۶۸۰	۰٫۶۱۰	۰٫۶۱۰
Er	۲٫۲۳۰	۲٫۱۸۰	۲٫۱۸۰	۲٫۰۳۰	۱٫۹۴۰
Tm	۰٫۳۳۰	۰٫۳۶۰	۰٫۳۳۰	۰٫۳۱۰	۰٫۳۲۰
Yb	۱٫۷۵۰	۱٫۸۰۰	۱٫۷۱۰	۱٫۵۷۰	۱٫۶۷۰
Lu	۰٫۲۹۰	۰٫۲۷۰	۰٫۲۸۰	۰٫۲۵۰	۰٫۲۶۰
Eu/Eu*	۰٫۹۰	۰٫۹۵	۰٫۹۸	۰٫۷۴	۰٫۷۶
$(La/Yb)_N$	۱۱٫۲۱	۱۱٫۱۲	۱۰٫۸۴	۱۲٫۰۲	۱۱٫۱۸

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-25]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.10.3]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.347]

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-25]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.10.3]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.347]



شکل۵ نمودار نامگذاری سنگ‌های آتشفشانی [۲۶].



شکل۶ جایگاه سنگ‌های آتشفشانی منطقه گرازی در: الف) نمودار AFM [۲۷]؛ ب) نمودار بررسی مقدار پتاسیم [۲۸].

نمودارهای عنکبوتی و الگوی فراوانی عناصر خاکی نادر

عناصر خاکی نادر (REE) نسبت به عناصر دیگر کمتر دچار هوازگی و دگرسانی‌های گرمابی می‌شوند. از این رو، الگوی فراوانی آن‌ها می‌تواند خاستگاه آذرین سنگ‌ها را نشان دهد [۲۹]. نمودار عنصرهای کمیاب بهنجارشده نسبت به ترکیب گوشته اولیه در شکل ۷ الف نشان داده شده است. در واقع، ترکیب گوشته اولیه همان ترکیب گوشته پیش از پیدایش پوسته‌ی قاره‌ای است [۲۹]. همه نمونه‌های منطقه گرازی غنی

شدگی از عناصر سنگ دوست بزرگ یون (LILE ؛ Cs, Rb, K) نسبت به عناصر با شدت میدان بالا (HFSE ؛ Y, Zr, Nb, Ti) را نشان می‌دهند (شکل ۷ الف). غنی شدگی از LILEها نسبت به HFSE ها نشان‌دهنده ماگمای وابسته به پهنه‌های فرورانش است [۲۹- ۳۳] و همچنین به باور مکالوک و گمبل [۳۴]، غنی شدگی LILEها نسبت به HFSEها شاید پیامد خروج HFSEها از گوشته در پی ذوب بخشی پیشین باشد. به باور یو و همکاران [۳۵]، این غنی‌شدگی نشان‌دهنده‌ی پیدایش سنگ‌های آذرین در مرز فعال قاره‌ای است.

در شکل ۷ الف عنصرهای Nb, P, Ti, Ba تهی‌شدگی وعنصرهای U, Pb, K, Th, Cs و به مقدار کم Zr، غنی شدگی نشان می‌دهند. ادواردز و همکاران [۳۶] بر این باور هستند که تهی‌شدگی از Ti در فعالیت ماگمایی وابسته به فرورانش و گریزندگی اکسیژن است. ناهنجاری منفی Ti می‌تواند نشان‌دهنده نقش اکسیدهای Fe-Ti بوده [۲۹] و همچنین تهی شدگی Ti شاید پیامد جدایش بلورین کانی‌های آمفیبول‌دار و یا فازهای Tiدار (چون ایلمنیت) باشد. با وجود این، مقدار تهی‌شدگی در گروه‌های سنگی پدید آمده در کمان‌های ماگمایی متفاوت است [۳۷]. تهی‌شدگی فسفر در نمونه‌ها به جدایش آپاتیت از ماگما وابسته است [۳۸]. از آنجا که بی‌هنجاری منفی Nb از ویژگی‌های آشکار سنگ‌های قاره‌ای است، تهی‌شدگی ماگماهای گوشته‌ای از این عنصر چه بسا پیامد آلایش این ماگماها با مواد پوسته‌ای طی بالا آمدن و یا جایگزینی و یا غنی‌شدگی با شاره‌ها در منطقه فرورانش بوده است [۳۹]. لینسون [۲۹] نیز تهی‌شدگی Nb را نشانگر آلایش با سنگ‌های پوسته‌ی قاره‌ای و مشارکت پوسته در فرایندهای ماگمایی می‌داند. ناهنجاری منفی عنصر Ba در سنگ‌های آتشفشانی می‌تواند مستقل از درجه اشباع‌شدگی ماگمای سازنده آن‌ها از سیلیس و مقدار شکل‌گیری آن باشد [۴۰].

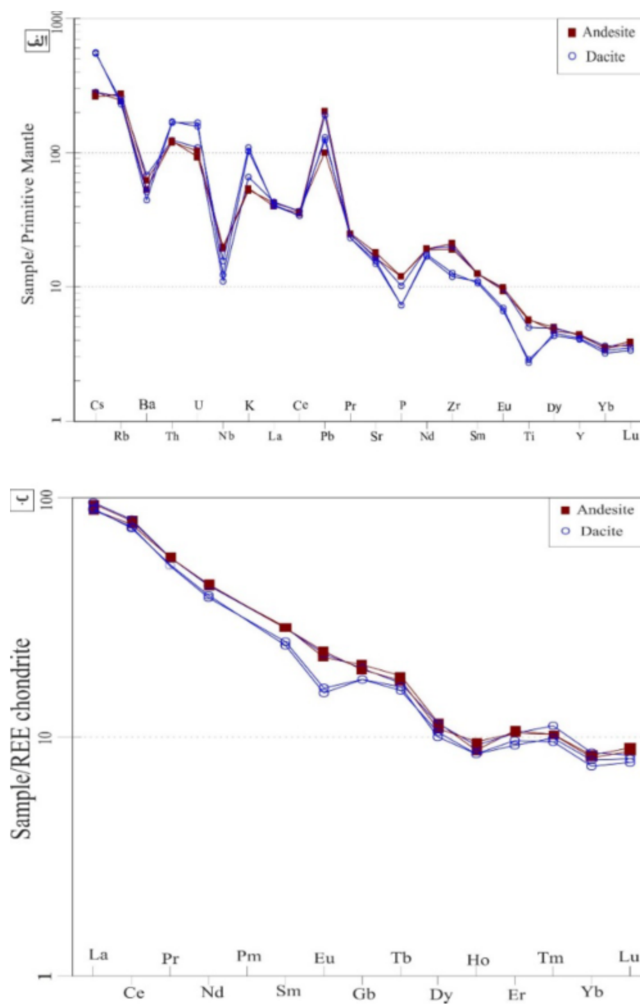
غنی شدگی عناصر Th و U در نمودارهای عنکبوتی می‌تواند نشانگر اضافه شدن رسوب های گودابه‌ای و یا پوسته اقیانوسی دگرسان شده به منبع ذوب شدگی باشد [۴۱]. به باور برخی پژوهشگران [۴۳،۴۲]، غنی‌شدگی K که در سنگ‌های آتشفشانی منطقه گرازی دیده می‌شود در درجه نخست، شاید پیامد ذوب اولیه‌ی خاستگاه گوشته‌ای با کانی‌های آبدار (چون فلوگوپیت و آمفیبول) باشد که پیدایش مذاب سرشار از پتاسیم را در پی داشته و در درجه دوم نیز شاید پیامد آلایش پوسته‌ای بوده است. عنصر Zr نیز کمی غنی‌شدگی نشان می‌دهد. به باور لینسون [۲۹]، از آنجا که Zr بار الکتریکی بالا و شعاع یونی کمابیش بزرگی دارد به ساختار کانی‌های سنگ‌ساز رایج وارد نشده و در فاز ویژه‌ای (اغلب زیرکن) حضور یافته است. غنی‌شدگی Cs به دلیل تمرکز بالای این عنصر در پوسته قاره‌ای می‌تواند نشانگر آلایش ماگما با مواد پوسته‌ای باشد [۴۴]. ناهنجاری مثبت Pb می‌تواند بیانگر دگرنهادی گوشته‌ای توسط سیال‌های برآمده از پوسته اقیانوسی فرورو و یا آلایش ماگما با پوسته قاره‌ای باشد [۳۷].

در نمودار عناصر خاکی نادر سنگ‌های آتشفشانی بهنجار شده نسبت به ترکیب کندریت [۴۵]، عناصر خاکی نادر سبک (LREE) نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) غنی شدگی بیشتری نشان می‌دهند (شکل ۷ ب). روند غنی شدگی از LREEها نسبت به HREEها نشان‌دهنده یک ماگمای پدید آمده در پهنه فرورانش است [۲۹- ۳۳]. همچنین، غنی‌شدگی LREEها نسبت به HREEها شاید در پی جدایش بلورین کانی هورنبلند یا گارنت‌دار بودن خاستگاه باشد [۴۶]. سنگ‌های آتشفشانی منطقه گرازی دارای ناهنجاری منفی Eu/Eu* هستند که این مقدار برای نمونه‌های داسیتی ۰٫۷۴ تا ۰٫۷۶ و برای نمونه‌های آندزیتی ۰٫۹۰ تا ۰٫۹۸ است (شکل ۷ ب). بانسس و همکاران [۴۷] بی‌هنجاری منفی ضعیف Eu را پیامد فرایند تبلور بخشی کانی پلاژیوکلاز می‌دانند.

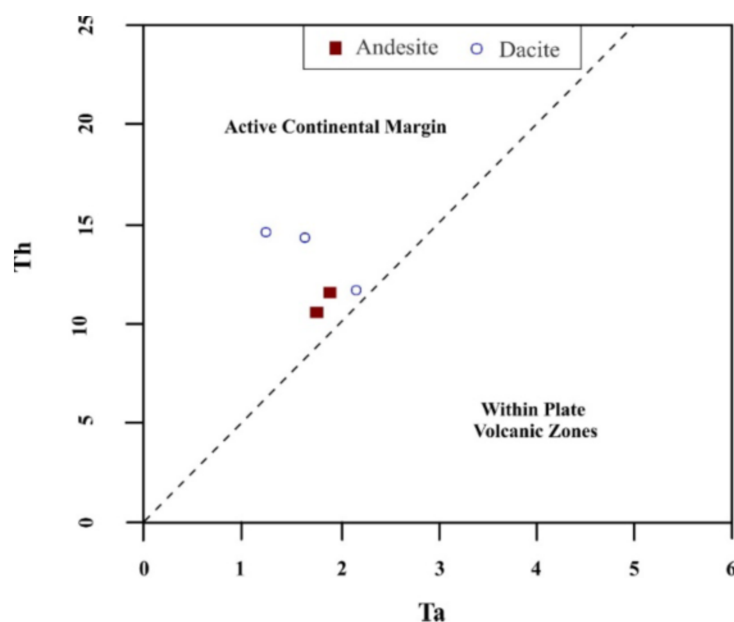
جایگاه زمین ساختی و خاستگاه

برای شناسایی جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی منطقه گرازی، از نمودارهای Th نسبت به Ta (شکل ۸) و Th/Yb نسبت به Ta/Yb (شکل ۹) [۴۸] استفاده گردید. بر این اساس، سنگ‌های آتشفشانی در گستره کرانه فعال قاره‌ای (ACM) و بیشتر نمونه‌های گرازی در گستره آهکی قلیایی تا شوشونیتی جای دارند و از روند گوشته دگرنهاده شده پیروی می‌کنند. نسبت بالای Th/Yb به احتمال بسیار ویژگی خاستگاهی است که در پی غنی‌شدگی فرورانش و یا غنی شدگی وابسته به آلایش پوسته، یا هر دو فرآیند، دچار دگرنهادی شده‌است [۴۹].

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-25]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.10.3]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.347]

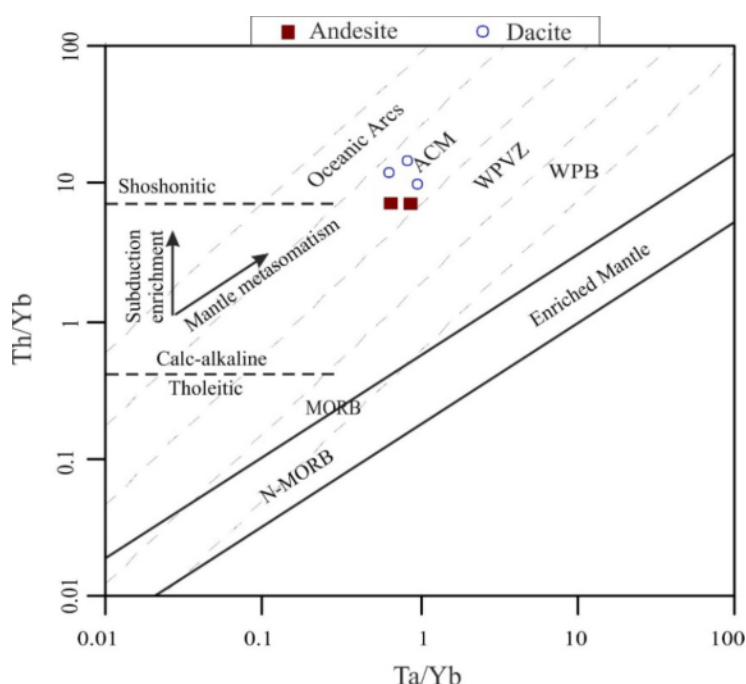


شکل۷ سنگ‌های آتشفشانی منطقه گرازی بر روی الف) نمودار عناصر کمیاب بهنجارشده نسبت به ترکیب گوشته اولیه [۳۹]؛ ب) نمودار عناصر خاکی نادر بهنجارشده نسبت به ترکیب کندریت [۴۵].



شکل۸ نمودار Th نسبت به Ta [۴۸].

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-25]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.10.3]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.347]



شکل۹ جایگاه زمین‌ساختی منطقه گرازی بر روی نمودار Th/Yb نسبت به Ta/Yb [۴۸] (Oceanic Arc: کمان اقیانوسی ؛ACM : کرانه فعال قاره‌ای؛ WPVZ: مناطق آتشفشانی درون صفحه‌ای، WPB: بازالت‌های درون صفحه‌ای و MORB: بازالت پشته میان اقیانوسی).

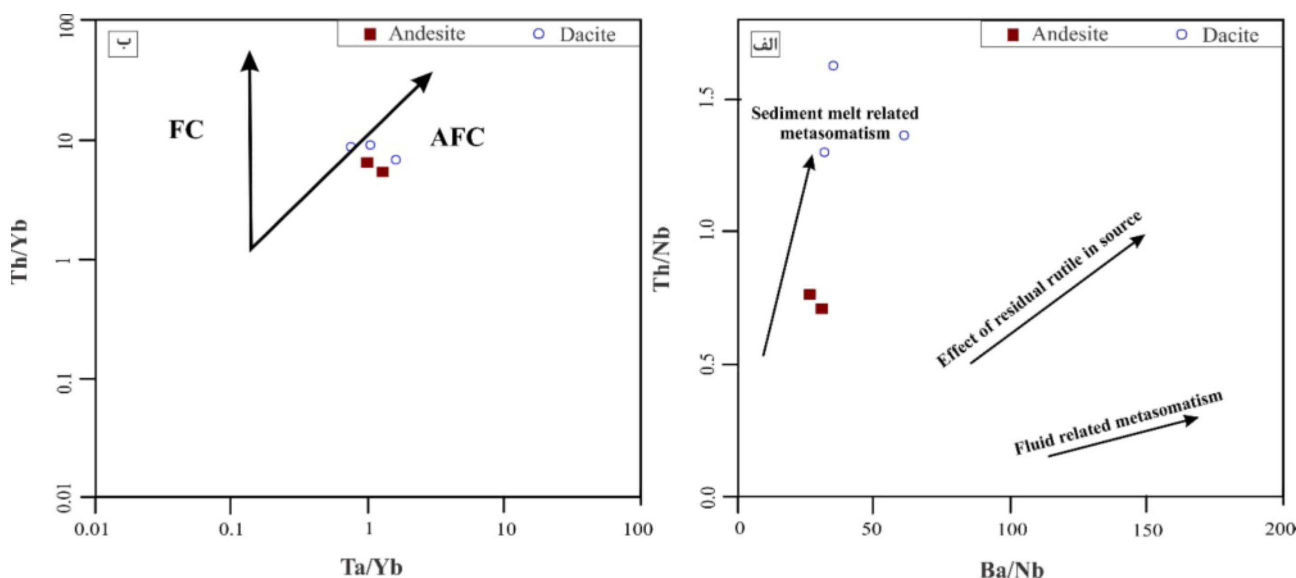
برای شناسایی گوه‌ی گوشته‌ای، پوسته فرورونده و رسوب‌ها از هم، براساس نسبت‌های عناصر نادر Ta/Yb-Th/Yb، دو نکته در نظر گرفته می‌شود [۳۲]؛ نخست با جای دادن Yb در مخرج کسر، برای هر دو محور عمودی و افقی نمودار، آثار ذوب بخشی و تبلوربخشی در پیدایش ماگما به کمترین می‌رسد. در مرحله دوم، با به کارگیری دو عنصر بسیار ناسازگار در صورت کسر، برای هر دو محور عمودی و افقی نمودار، می‌توان درباره وابستگی سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی به گوشته غنی‌شده و یا گوشته تهی‌شده، به یافته های خوبی دست یافت [۵۰]. بر این اساس ماگمای مادر سنگ‌های آتشفشانی منطقه گرازی به گوشته غنی‌شده وابسته است.

LREEها چون Ce، La، Nd، Pr و Th در سیال‌ها تحرک‌پذیری پسین ندارند، اما رسوب‌ها از این عناصر غنی شده هستند [۵۱]. براساس نمودارهای رسم شده، می‌توان چنین برداشت کرد که در خاستگاه نمونه‌های مورد بررسی، از میان اجزای فرورانشی، دگرنهادی وابسته به رسوب‌های فرورونده بیشترین نقش را دارد و نمونه‌ها در راستای این روند جای گرفته‌اند (شکل۱۰ الف). برای بررسی نقش فرایند جدایش بلورین همراه با هضم (AFC) یا جدایش بلورین (FC) در دگرگونی سنگ‌های ماگمایی منطقه گرازی، از نمودار Ta/Yb نسبت به Th/Yb (شکل ۱۰ ب) استفاده شد. با توجه به قرارگیری نمونه‌ها موازی با روند AFC در این نمودار، جدایش بلورین و آلایش مهم‌ترین فرایندهای موثر در پیدایش سنگ-های منطقه گرازی هستند.

برداشت

واحدهای آتشفشانی داسیت، آندزیت و بازالت بیشترین گسترش را در منطقه گرازی دارند. غنی شدگی LREEها نسبت به HREEها و غنی شدگی LILEها (Sr, Ba, Rb و K) نسبت به HFSEها (Ti, Nb) شواهد مهمی هستند که این واحدها در کمربند ماگمایی پهنه فرورانش تشکیل شده‌اند. این آتشفشانی‌های وابسته به کرانه قاره‌ای فعال هستند و ماگمای مادر آنها در اثر ذوب بخشی خاستگاه گوشته غنی شده شکل گرفته است. با توجه به ویژگی‌های زمین شیمیایی، می‌توان چنین گفت که در خاستگاه نمونه‌های بررسی شده از بین اجزای فرورانشی، دگرنهادی در ارتباط با رسوب های فرورونده، بیشترین نقش را داشته‌اند.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-25]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.10.3]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.347]



شکل ۱۰ الف) نمودار Th/Nb نسبت به Ba/Nb [۵۲] و ب) نمودار Th/Yb نسبت به Ta/Yb [۳۲] برای سنگ‌های آتشفشانی منطقه گرازی (شرق ایران) (AFC: جدایش بلورین همراه با هضم و FC: جدایش بلورین).

قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشـهد در ارتبـاط با طرح شماره ۵۴۱۰۷/۳ مورخ ۱۳۹۹/۱۲/۱۶ انجام شده اسـت. از آقای مهندس وحید تیزهوش که در بخش عملیات صـحرایی ما را یاری نمودند صمیمانه سپاسگزاریم.

مراجع

[1] Şengör A.M.C., "*A new model for the late Palaeozoic—Mesozoic tectonic evolution of Iran and implications for Oman*", *Geological Society, London, Special Publications* 49.1 (1990) 797-831.

[2] Alavi M., "*Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran*", Journal of Geodynamics 21.1 (1996) 1-33.

[3] Golonka J., "*Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic*", Tectonophysics 381.1-4 (2004) 235-273.

[4] Berberian M, King G. C. P., "*Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran*", Canadian journal of earth sciences 18.2 (1981) 210-265.

[5] Bagheri S., Stampfli G.M., "*The Anarak, Jandaq and Posht-e-Badam metamorphic complexes in central Iran: new geological data, relationships and tectonic implications*", Tectonophysics 451.1-4 (2008) 123-155.

[6] Pang K.N., Chung S.L., Zarrinkoub M.H., Khatib M.M., Mohammadi S.S., Chiu H.Y., Chu C.H., Lee H.Y., Lo C.H., "*Eocene–Oligocene post-collisional magmatism in the Lut–Sistan region, eastern Iran: Magma genesis and tectonic implications*", Lithos 180 (2013): 234-251.

[7] Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi A., Mazaheri S.A., Heydarian Shahri M.R., *"Magmatism and types of copper, gold, tin and tungsten mineralization in Lut block"*, collection Proceedings of the 15th Conference of Crystallography and Mineralogy Society of Iran, Ferdowsi University of Mashhad, (2007) 598-604.

[8] Aghanabati A., *"The Geology of Iran"*, Geological Survey of Iran (2004).

[9] Emami M., *"Magmatism in Iran. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran"*, number 71, 622 pp (2000).

[10] Javidi Moghaddam M., Karimpour M.H., Shafaroudi A.M., Santos J.F., Mendes M.H.,

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-25]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.10.3]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.347]

[18] Alavi Naini M., *“Geological map 1:100000 of Khaf, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran”,* (1979).

[19] Barker D. S., *"Igneous rocks. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey"*, (1983).

[20] Ghasemi H., Jamshidi K., “*Investigating the characteristics of the source origin of alkaline rocks at the base of the Shemshak Formation in the eastern Alborz(in Persian)”,* Iranian Journal of Geology 7(29) (2013) 17-29.

[21] Kawabata H., Shuto K., "*Magma mixing recorded in intermediate rocks associated with high-Mg andesites from the Setouchi volcanic belt, Japan: implications for Archean TTG formation*", Journal of Volcanology and Geothermal Research 140.4 (2005) 241-271.

[22] Roozbahani L., Arvin M., "*Petrography, geochemistry and petrogenesis of rhyolitic and andesitic rocks of Nasir-Abad area, SW of Rayen, Kerman*", Iranian Journal of Petrology 1.2 (2010) 1-16.

[23] Chang Z., Meinert L.D., "*The magmatic–hydrothermal transition—evidence from quartz phenocryst textures and endoskarn abundance in Cu–Zn skarns at the Empire Mine, Idaho, USA*", Chemical Geology 210.1-4 (2004) 149-171.

[24] Pankhurst KG Cox JD Bell RJ. "*The interpretation of igneous rocks George Allen and Unwin London*", (1979) 570p.

[25] Whitney D.L., Evans B.W., "*Abbreviations for names of rock-forming minerals*", American mineralogist 95.1 (2010) 185-187.

[26] Middlemost E.A., "*Naming materials in the magma/igneous rock system*", Earth-science reviews 37.3-4 (1994) 215-224.

[27] Irvine T. N., Baragar W. R. A., "*Aguide to the chemical classification of the common volcanic rocks* ",Can. J. Earth. Sci., 8 (1971) 523-548.

[28] Peccerillo A., Taylor S.R., "*Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey*", Contributions to mineralogy and petrology 58.1 (1976) 63-81.

"*Geochemistry, Sr-Nd isotopes and zircon U-Pb geochronology of intrusive rocks: Constraint on the genesis of the Cheshmeh Khuri Cu mineralization and its link with granitoids in the Lut Block, Eastern Iran*", Journal of Geochemical Exploration 202 (2019) 59-76.

[11] Javidi Moghaddam M., Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi A., Santos J.F., Corfu F., "*Middle Eocene magmatism in the Khur region (Lut Block, Eastern Iran): implications for petrogenesis and tectonic setting*", International Geology Review 63, no. 9 (2021) 1051-1066.

[12] Beydokhti R.M., Karimpour M.H., Mazaheri S.A., Santos J.F., Klötzli U., *"U–Pb zircon geochronology, Sr–Nd geochemistry, petrogenesis and tectonic setting of Mahoor granitoid rocks (Lut Block, Eastern Iran)",* Journal of Asian Earth Sciences 111 (2015)192-205.

[13] Arjmandzadeh R., J. F. Santos, *"Sr–Nd isotope geochemistry and tectonomagmatic setting of the Dehsalm Cu–Mo porphyry mineralizing intrusives from Lut Block, eastern Iran*", International Journal of Earth Sciences 103.1 (2014) 123-140.

[14] Abdi M., Karimpour M.H., "*Petrochemical Characteristics and Timing of Middle Eocene Granitic Magmatism in Kooh-Shah, Lut Block, Eastern Iran*", Acta Geologica Sinica-English Edition 87.4 (2013)1032-1044.

[15] Samiee S., Karimpour M.H., Ghaderi M., Shahri M.R.H., Klöetzli U., Santos J.F., "*Petrogenesis of subvolcanic rocks from the Khunik prospecting area, south of Birjand, Iran: Geochemical, Sr–Nd isotopic and U–Pb zircon constraints*", Journal of Asian Earth Sciences 115 (2016) 170-182.

[16] Tarkian M., Lotfi M., Baumann A., "*Tectonic, magmatism and the formation of mineral deposits in the central Lut, east Iran*", (1983) 357-383.

[17] Alavi-Naini M., “Geological map 1:250,000 of Taibad, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran”, (1982).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-25]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.10.3]

[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.347]

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-25]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.10.3]
[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.347]

[29] Rollinson H., "*Using geochemical data*", Evaluation, presentation, interpretation 1 (1993).

[30] Caffe P.J., Trumbull R.B., Siebel W., "*Petrology of the Coyaguayma ignimbrite, northern Puna of Argentina: Origin and evolution of a peraluminous high-SiO2 rhyolite magma*", Lithos 134 (2012) 179-200.

[31] Gill J. B., "*Orogenic andesites and plate tectonics. Springer, New York* ", (1981).

[32] Pearce J.A., "*Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins*", (1983) 230-249.

[33] Wilson M. ed., "*Igneous petrogenesis. Dordrecht: Springer Netherlands*", (1989).

[34] McCulloch M.T., Gamble J.A., "*Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatism*", Earth and Planetary Science Letters 102.3-4 (1991) 358-374.

[35] Yu Q., Ge W.C., Zhang J., Zhao G.C., Zhang Y.L., Yang H., "*Geochronology, petrogenesis and tectonic implication of Late Paleozoic volcanic rocks from the Dashizhai Formation in Inner Mongolia, NE China*", Gondwana Research 43 (2017) 164-177.

[36] EDWARDS C.M., MENZIES M.A., THIRLWALL M.F., MORRIS J.D., LEEMAN W.P., HARMON R.S., "*The transition to potassic alkaline volcanism in Island Arcs: the Ringgit—Beser complex, East Java, Indonesia*",Journal of Petrology 35.6 (1994) 1557-1595.

[37] Kamber B.S., Ewart A., Collerson K.D., Bruce M.C., McDonald G.D., "*Fluid-mobile trace element constraints on the role of slab melting and implications for Archaean crustal growth models*", Contributions to Mineralogy and Petrology 144.1 (2002) 38-56.

[38] Wu F.Y., Jahn B.M., Wilde S.A., Lo C.H., Yui T.F., Lin Q., Ge W. C., Sun D. Y., "*Highly fractionated I-type granites inChina (I): geochronology and petrogenesis*", Lithos 66 (3-4) (2003)241-273.

[39] Sun S.S., McDonough W.F., "*Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes*", *Geological Society, London, Special Publications* 42.1 (1989) 313-345.

[40] Avanzinelli R., Elliott T., Tommasini S., Conticelli S., "*Constraints on the genesis of potassium-rich Italian volcanic rocks from U/Th disequilibrium*", Journal of Petrology 49.2 (2008) 195-223.

[41] Fan W.M., Guo F., Wang Y.J., Lin G., "*Late Mesozoic calc-alkaline volcanism of post-orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northeastern China*",Journal of volcanology and geothermal research 121.1-2 (2003) 115-135.

[42] Foley S., "*Petrological characterization of the source components of potassic magmas: geochemical and experimental constraints*", Lithos 28.3-6 (1992) 187-204.

[43] Zheng Y., Chen R., Xu Z., Zhang S., "*The transport of water in subduction zones*", Science China Earth Sciences 59, no. 4 (2016) 651-682.

[44] Wang Q., McDermott F., Xu J.F., Bellon H., Zhu Y.T., "*Cenozoic K-rich adakitic volcanic rocks in the Hohxil area, northern Tibet: lower-crustal melting in an intracontinental setting*", Geology 33. 6 (2005) 465-468.

[45] Boynton W.V., "*Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies*", Developments in geochemistry. Vol. 2. Elsevier, (1984) 63-114.

[46] Jahangiri Ahmad, "*Post-collisional Miocene adakitic volcanism in NW Iran: geochemical and geodynamic implications*", Journal of Asian Earth Sciences 30.3-4 (2007) 433-447.

[47] Barnes S.J., van Achterbergh E., Makovicky E., Li C., "*Proton microprobe results for the partitioning of platinum-group elements between monosulphide solid solution and sulphide liquid*", South African Journal of Geology 104.4 (2001) 275-286.

[48] Schandl E. S., Gorton M. P., "*Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments*", Economic Geology, 97(2002) 629-642.

[49] Gencalioglu Kuscu G., Geneli F., "*Review of post-collisional volcanism in the Central Anatolian Volcanic Province (Turkey), with special reference to the Tepekoy Volcanic Complex*", International Journal of Earth Sciences 99, no. 3 (2010) 593-621.

[50] Zarasvandi A., Pourkaseb H., Saki A., Karevani M., "*Investigation of petrology and geochemistry of volcanic rocks in the Kasian area, northeast of Khorramabad."* Iranian Journal of Petrology 4, no. 14 (2013)49-64.

[51] Elliott T., Plank T., Zindler A., White W., Bourdon B., "*Element transport from slab to volcanic front at the Mariana arc*", Journal of Geophysical Research: Solid Earth 102, no. B7 (1997) 14991-15019.

[52] Ersoy E.Y., Helvacı C., Palmer M.R., "*Mantle source characteristics and melting models for the early-middle Miocene mafic volcanism in Western Anatolia: implications for enrichment processes of mantle lithosphere and origin of K-rich volcanism in post-collisional settings*", Journal of Volcanology and Geothermal Research 198, no. 1-2 (2010) 112-128.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-02-25]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1402.31.2.10.3]

[DOI: 10.61186/ijcm.31.2.347]